

1. Introdução

O presente trabalho consiste na aplicação da técnica combinada do processo de otimização SCE (*Shuffled Complex Evolution*), que é um algoritmo de abordagens probabilísticas e determinísticas para um agrupamento de dados, cuja evolução sistemática de um complexo de pontos iniciais abrange o espaço na direção de melhoria global da resposta de uma dada função, com o MEF (Método dos Elementos Finitos), que consiste na discretização de um sólido para a resolução numérica das equações diferenciais dos deslocamentos, a fim de encontrar a melhor solução que relaciona a orientação das fibras com o menor deslocamento, em magnitude, de uma pá de gerador eólico constituída por compósitos laminares. Para tanto, foi utilizado o software de elementos finitos Abaqus/CAE e sub-rotinas escritas nas linguagens Python e Fortran.

2. Otimização de uma placa de compósito multilaminar

2.1. Objetivos

Encontrar o deslocamento mínimo de uma placa de compósito laminar de 5 camadas, contendo 5 espessuras fixas e variando os 5 tipos distintos de orientações angulares, constituído por fibra de vidro e matriz epóxi (*Tabela 1*), utilizando os procedimentos de otimização, isto é, encontrar o valor de deslocamento mínimo para a função $\tilde{x}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5) = U_{min}$, que depende das orientações das fibras, através do algoritmo escrito em Fortran e executado no Abaqus.

| E1 [Pa] | E2 [Pa] | Nu12 | G12 [Pa] | G13 [Pa] | G23 [Pa] |
|----------|----------|------|----------|----------|----------|
| 3.90E+10 | 8.60E+09 | 0.28 | 3.8 | 3.80E+09 | 2.50E+09 |

Tabela 1 - de Propriedades Mecânicas do GF-Epoxy

2.2. Metodologia

Utilizou-se o otimizador SCE (*Shuffled Complex Evolution*) adaptado e o MEF (Método dos Elementos Finitos) para se obter o menor deslocamento de uma placa de GF-Epoxy, variando-se automaticamente a orientação dessas fibras em 0°, 30°, 45°, 60° e 90°. A Placa foi inicialmente engastada em uma das suas extremidades e, então, aplicado um carregamento uniforme axial de 100MPa.

2.3. Resultados

Ao empregar o otimizador SCE para três séries com população inicial de 40, 50 e 60 indivíduos, foi possível observar a convergência para o menor deslocamento, conforme é mostrados nas Figuras 1 e 2, resultado das seguintes orientações ($\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 0^\circ, \theta_3 = 0^\circ, \theta_4 = 0^\circ$ e $\theta_5 = 0^\circ$) para as fibras constituintes da placa de espessura fixa.

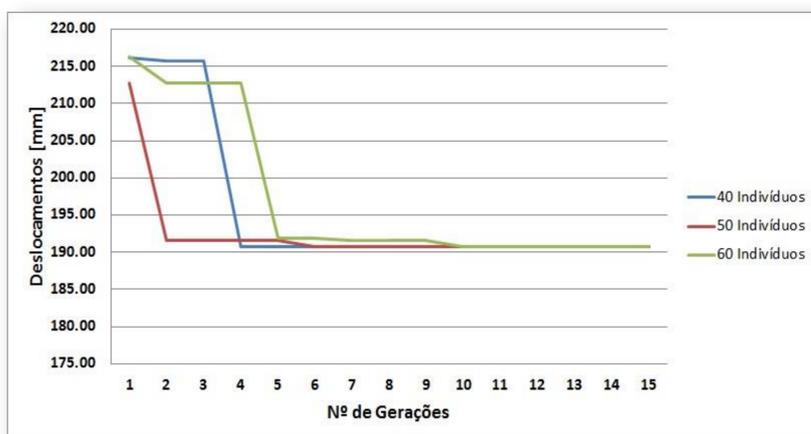


Figura 1 – Convergência para o menor deslocamento

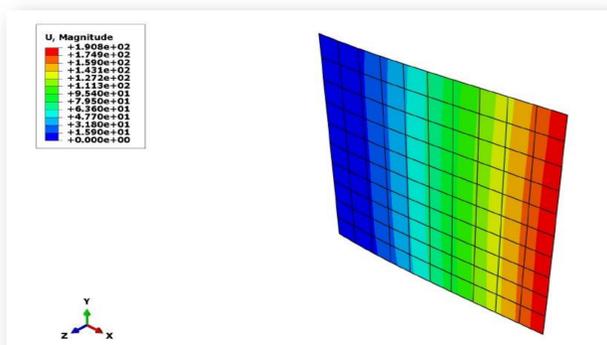


Figura 2 – Deslocamento mínimo da placa

3. Otimização de uma pá de turbina eólica

3.1. Objetivos

De forma análoga à da placa, encontrar o deslocamento mínimo utilizando os procedimentos de otimização aplicado em estruturas de maior complexidade: Pás de aerogeradores, variando-se a orientação das fibras do seu material constituinte.

3.2. Metodologia

Empregou-se o SCE (*Shuffled Complex Evolution*) juntamente com o MEF (método dos elementos finitos) numa Pá (*Figura 3*) de aerogerador, conhecendo-se as condições de contorno e as propriedades mecânicas do compósito (*Tabela 2*). Aplicou-se, então, uma malha adequada a sua geometria (*Figuras 4*) para a resolução numérica das equações diferenciais para os deslocamentos da estrutura, iterativamente com o SCE.

| E1 [Pa] | E2 [Pa] | Nu12 | G12 [Pa] | G13 [Pa] | G23 [Pa] |
|----------|----------|-------|----------|----------|----------|
| 2.01E+10 | 7.68E+09 | 0.234 | 5.5E+09 | 5.5E+09 | 5.5E+09 |

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas da fibra de vidro empregada na Pá

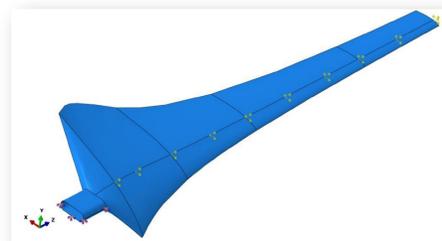


Figura 3 - Modelo da Pá

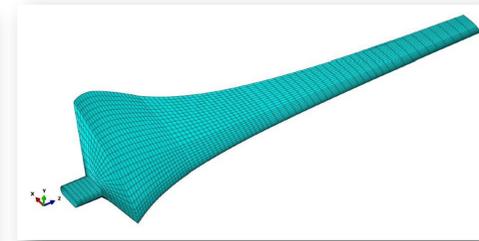


Figura 4 - Malha de elementos finitos

3.3. Resultados

Como resultado da utilização do SCE na geometria da Pá, foi possível observar a otimização da função deslocamento para 15 gerações de uma população inicial de 50 indivíduos para o menor deslocamento (*Figuras 5 e 6*) com orientações das fibras ($\theta_1 = 60^\circ, \theta_2 = 60^\circ, \theta_3 = 60^\circ, \theta_4 = 60^\circ$ e $\theta_5 = 60^\circ$), que resultaram do processo iterativo do SCE. Será necessário investigar maiores gerações para se obter o menor deslocamento possível.

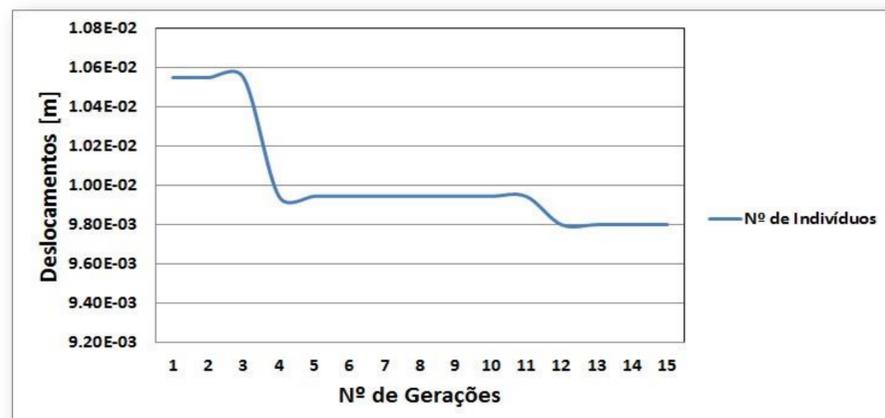


Figura 5 – Gráfico dos menores deslocamentos para uma população inicial de 50 indivíduos, em função do número de gerações

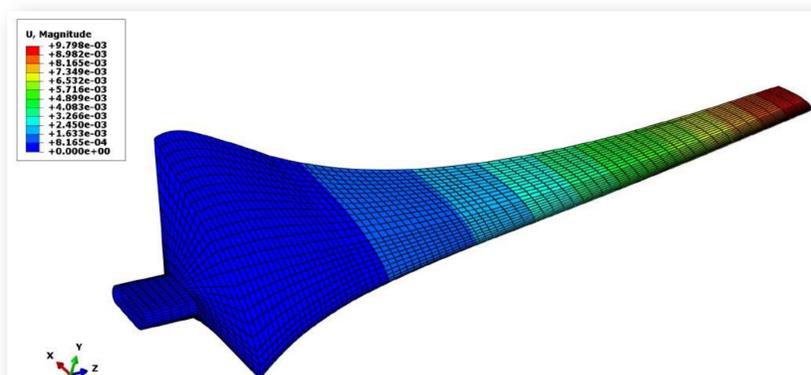


Figura 6 – Menor deslocamento da Pá para a combinação das orientações das fibras constituintes, que resultaram do método SCE para 15 gerações

4. Conclusão

A otimização convergiu para um mínimo global (deslocamento) para a placa e, também, mostrou-se uma excelente ferramenta para aplicação em geometrias mais complexas como a da Pá. A evolução deste trabalho empregará os procedimentos de otimização em situações na quais serão variáveis tanto as orientações das fibras, quanto as espessuras dos constituintes e, também, a utilização de critérios de falha como o de Hashin.